Р. М. Малинин

Выходные трансформаторы

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

СПРАВОЧНАЯ СЕРИЯ

Выпуск 471

Р. М. МАЛИНИН

ВЫХОДНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

Брошюра содержит справочные сведения по расчету и конструированию выходных трансформаторов для оконечных каскадов усилителей низкой частоты в приемниках, телевизорах и других устройствах, собранных на электронных лампах или транзисторах.

Справочник предназначен для радиолюбителей-конструкторов.

М 19 *Малинин Роман Михайлович*
Выходные трансформаторы. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
32 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 471).
621.314.2

Редактор *А. И. Кузьминов.* Техн. редактор *Л. М. Фридкин*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 8/I 1963 г. Подписано к печати 12/III 1963 г.
Т-00202 Бумага 84×108 1/32 1,64 п. л. Уч.-изд. л. 1,8. Тираж 140 000 экз.
Цена 07 к. Зак. 14.

1-я типография Профиздата, Москва, Крутицкий вал, 18.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН, ПРИНЯТЫЕ В СПРАВОЧНИКЕ

A — конструктивная постоянная магнитопровода,

$$A=7{,}2\cdot 10^{-3}\frac{S_{ст}\,S_{о}\,\sigma_{о}}{l_{м}\,l_{в}};$$

B — ширина (толщина) магнитопровода, *мм*;
B — магнитная индукция, *тл*[1];
d_{I} — диаметр провода первичной обмотки, *мм*;
d_{II} — диаметр провода вторичной обмотки, *мм*;
I_0 — постоянная составляющая тока первичной обмотки (тока анода лампы, тока коллектора транзистора), для двухтактной схемы — постоянная составляющая каждого плеча, *ма*;
$f_{в}$ — высшая частота полосы пропускания, *гц*;
$f_{н}$ — низшая частота полосы пропускания, *гц*;
H — высота магнитопровода, *мм*;
$h_{п}$ — ширина замыкающей пластины (перемычки) магнитопровода, *мм*;
$h_{о}$ — высота окна магнитопровода, *мм*;
L — длина магнитопровода, *мм*;
L_{I} — индуктивность первичной обмотки, *гн*;
L_s — индуктивность рассеяния трансформатора, *гн*;
l — ширина средней части Ш-образной пластины (среднего стержня броневого магнитопровода), *мм*;
$l_{в}$ — средняя длина витка обмоток, *см*;
$l_{з}$ — ширина немагнитного зазора в магнитопроводе, *мм*;
$l_{м}$ — длина средней магнитной силовой линии магнитопровода, *см*;
$l_{о}$ — ширина окна магнитопровода, *мм*;
m — число громкоговорителей;
$M_{н}$ — снижение усиления на низшей частоте $f_{н}$ полосы пропускания по сравнению с усилением на средних частотах, вызываемое выходным трансформатором;
$P_{вых}$ — выходная мощность оконечного каскада, *вт*;

[1] Для магнитной индукции в соответствии с ГОСТ 9867-61 (международная система единиц СИ) вместо старой единицы измерения гаусс (сокращенно *гс*) установлена новая единица — тесла (сокращенно *тл*), причем 1 *тл*=10 000 *гс*.

$P_{н.к}$ — номинальная мощность громкоговорителя, подключенного к концам вторичной обмотки, *вт*;

$P_{н.о}$ — номинальная мощность громкоговорителя, подключенного к отводу вторичной обмотки, *вт*;

$r_{зв}$ — сопротивление звуковой катушки громкоговорителя переменному току частотой 1 000 *гц, ом;*

$R_а$ — наивыгоднейшее эквивалентное сопротивление нагрузки анодной цепи лампы или коллекторной цепи транзистора в однотактном каскаде, *ом;*

$R_{а\text{-}а}$ — то же, между анодами ламп или коллекторами транзисторов в двухтактном каскаде, *ом*;

$R_н$ — сопротивление нагрузки трансформатора переменному току частотой 1 000 *гц, ом*;

$S_{ст}$ — полезная площадь сечения магнитопровода, *см²*;

$R_{н.к}$ — сопротивление нагрузки, подключенной к концам вторичной обмотки, *ом*;

$R_{н.о}$ — сопротивление нагрузки, подключенной к отводу вторичной обмотки; *ом*;

U_0 — напряжение источника питания анодной цепи лампы (ламп) или коллекторной цепи транзистора (транзисторов), *в*;

U_{II} — действующее напряжение звуковой частоты на вторичной обмотке, *в*;

w_I — число витков первичной обмотки;

w_{II} — число витков вторичной обмотки;

$w_о$ — число витков между началом и отводом вторичной обмотки;

$w_э$ — число витков первичной обмотки, включенных в общую цепь анода и экранирующей сетки при сверхлинейной схеме;

δ — плотность тока в обмотках, *а/мм²*;

η — к. п. д. трансформатора;

μ — магнитная проницаемость материала магнитопровода;

$\sigma_{ст}$ — коэффициент заполнения магнитопровода сталью;

$\sigma_о$ — коэффициент заполнения окна медью.

Коэффициенты в формулах:

$$k_1 = \frac{9\,000}{\sqrt{2{,}2\pi\mu f_н \sqrt{M_н^2-1}}};$$

$$k_2 = \frac{9\,000}{\sqrt{2{,}2\pi\mu f_н \sqrt{M_н^2-1}}};$$

$$k_3 = \frac{12\,700}{\sqrt{2{,}2\pi\mu f_н \sqrt{M_н^2-1}}};$$

$$k_4 = \frac{1\,280\,(1+\eta)}{f_н B\,[тл]};$$

$$k_5 = \frac{1\,600\,(0{,}71+\eta)}{f_н B\,[тл]};$$

$$k_6 = \frac{w_э}{w_I};$$

$$k_7 = \frac{0{,}015}{\sqrt{0{,}5(1-\eta)}};$$

$$k_8 = \frac{0{,}015}{\sqrt{0{,}586\,(1-\eta)}};$$

$$k_9 = \frac{1}{\sqrt{\eta}};$$

$$k_{10} = 0{,}015\sqrt{\frac{\eta}{0{,}5\,(1-\eta)}};$$

$$k_{11} = 0{,}015\sqrt{\frac{\eta}{0{,}414\,(1-\eta)}}.$$

НАЗНАЧЕНИЕ ВЫХОДНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Выходной трансформатор является связующим звеном между анодной цепью электронной лампы (ламп) или коллекторной цепью транзистора (транзисторов) оконечного каскада усилителя низкой частоты и его нагрузкой. С помощью выходного трансформатора мощность переменного тока звуковой частоты передается из анодной или коллекторной цепи нагрузке.

Нагрузкой усилителя низкой частоты радиовещательного приемника, радиолы, телевизора, граммофонного проигрывателя, магнитофона (при воспроизведении записей) служит громкоговоритель или акустическая система из нескольких громкоговорителей. Во всех этих случаях выходной трансформатор должен быть понижающим.

Основными частями выходного трансформатора являются магнитопровод (сердечник) и расположенные на нем обмотки из медного изолированного провода.

СХЕМЫ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Обмотка, включаемая в анодную или коллекторную цепь оконечного каскада, называется п е р в и ч н о й, а обмотка, к которой подключается нагрузка, в т о р и ч н о й. Вторичных обмоток может быть несколько. Обмотки могут иметь отводы. С вторичной обмотки (общей с нагрузкой или отдельной) часто снимают напряжение отрицательной обратной связи. Первичные обмотки обозначают на схемах цифрой *I*, а вторичные цифрой *II* (рис. 1—3).

Однотактные оконечные каскады (рис. 1) применяют в усилителях с выходной мощностью, не превышающей обычно 0,03—0,05 *вт* с транзисторами, 0,1—0,15 *вт* с электронными лампами при батарей-

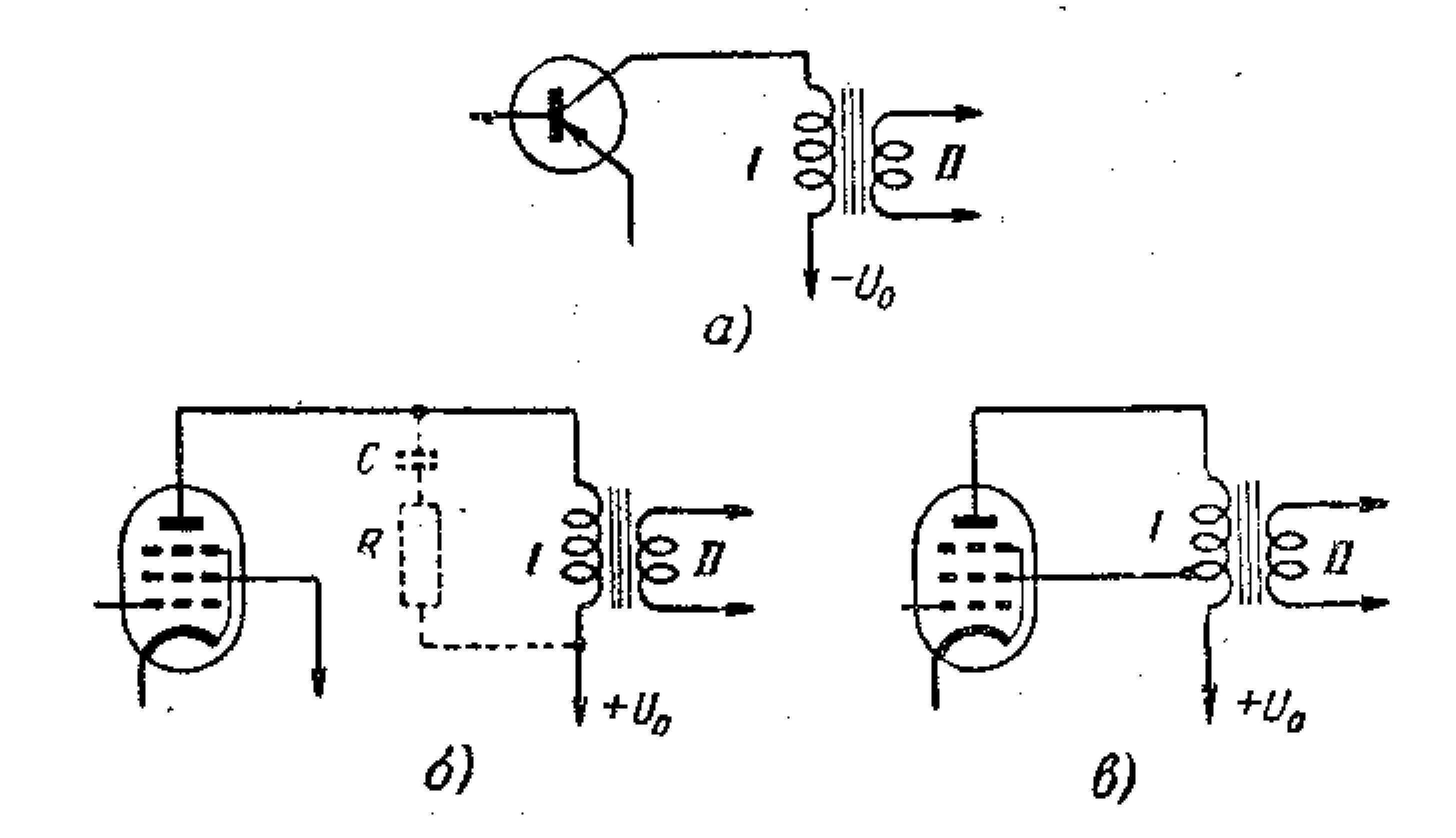


Рис. 1. Схемы включения выходных трансформаторов в однотактные оконечные каскады.

а — с транзистором; *б* — с пентодом или лучевым тетродом; *в* — то же по сверхлинейной схеме.

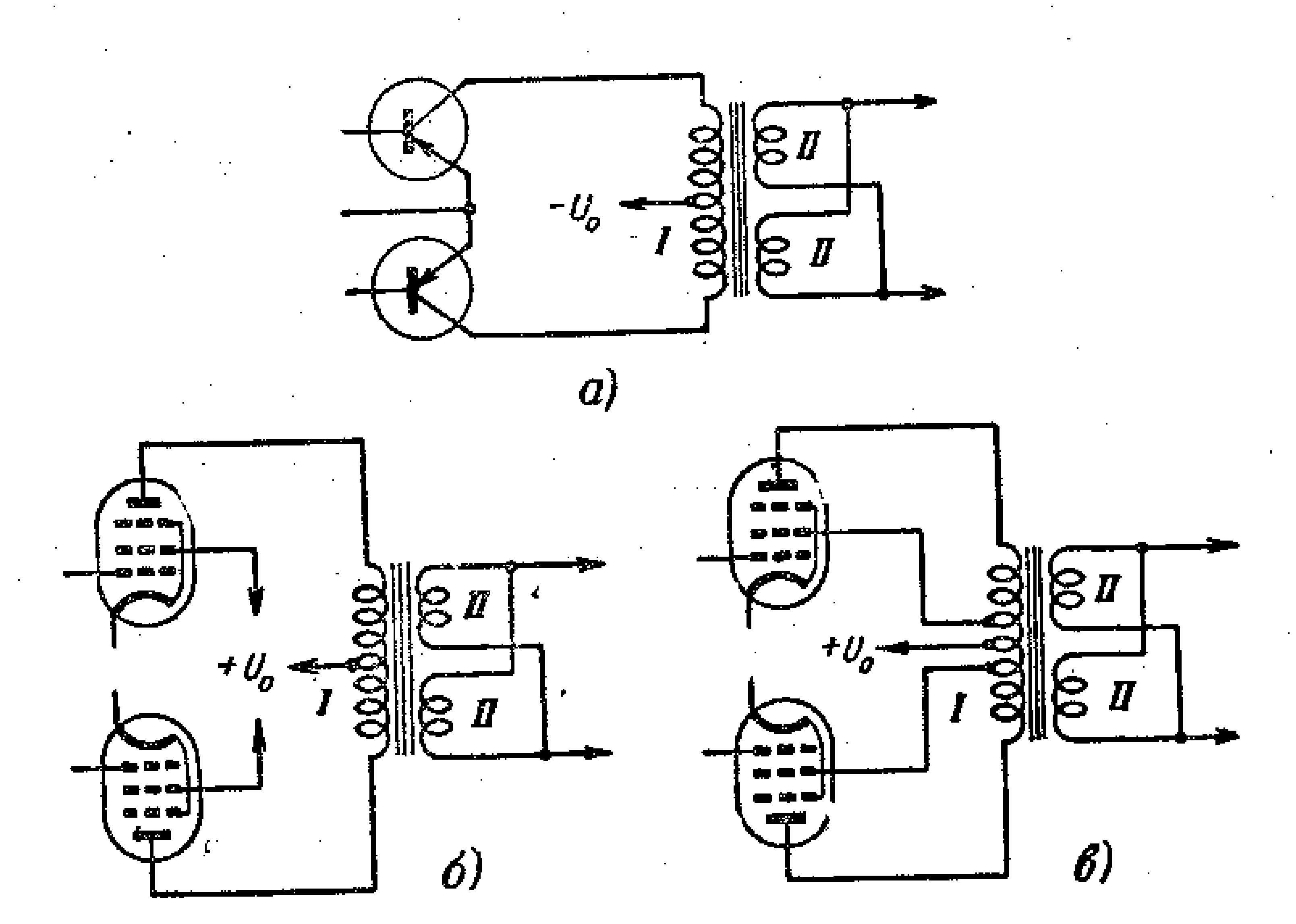


Рис. 2. Схемы включения выходных трансформаторов в двухтактные оконечные каскады.

а — с транзисторами; *б* — с пентодами или лучевыми тетродами; *в* — то же по сверхлинейной схеме.

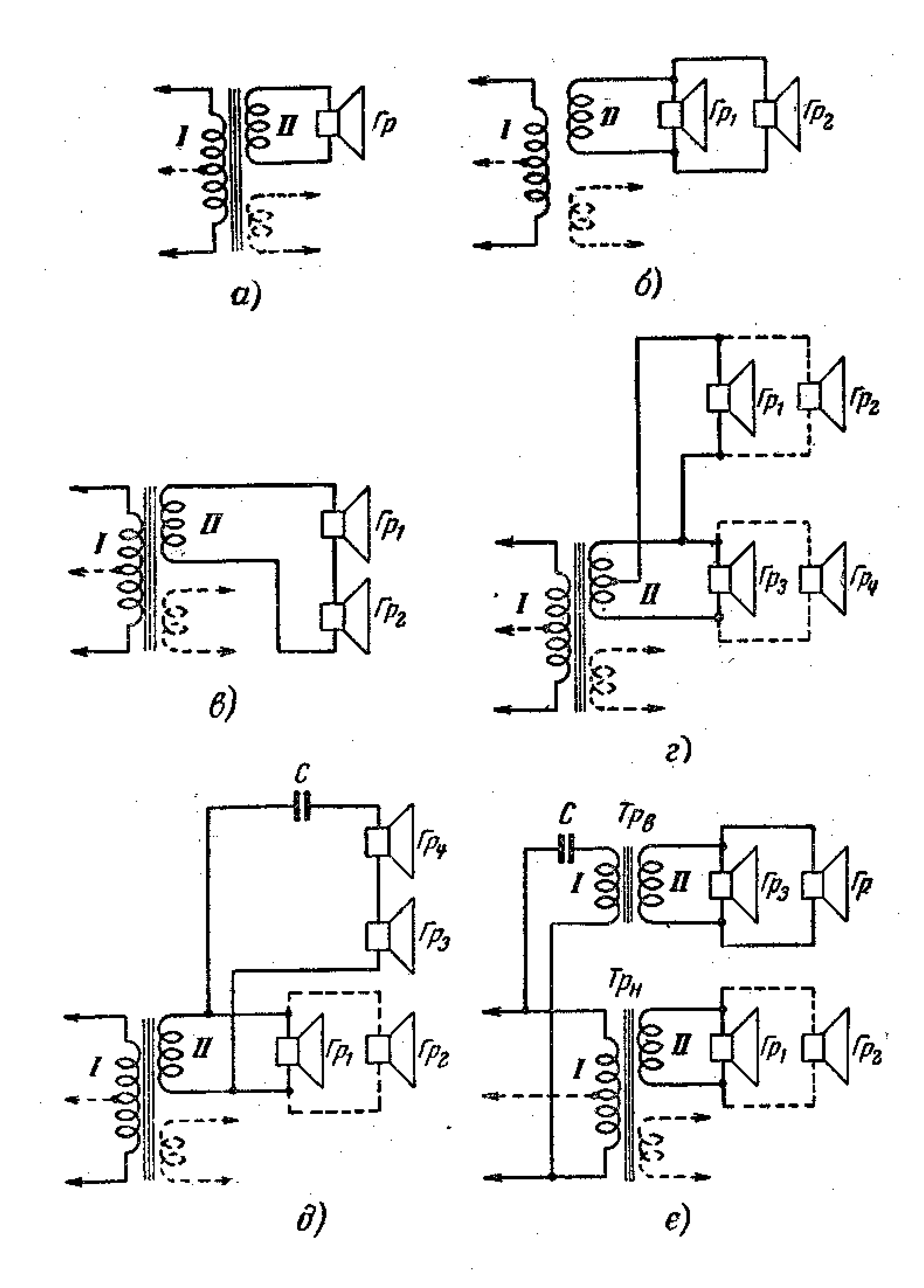


Рис. 3. Схемы присоединения громкоговорителей к выходным трансформаторам.

а — одного громкоговорителя; *б* — двух, соединенных параллельно; *в* — двух, соединенных последовательно; *г* — двух громкоговорителей или двух групп громкоговорителей с различными сопротивлениями звуковых катушек или различными номинальными мощностями; *д* — громкоговорители для воспроизведения верхних звуковых частот в системе объемного звучания подключаются к вторичной обмотке трансформатора через конденсатор *C*; *е* — громкоговорители для воспроизведения верхних звуковых частот в системе объемного звучания подключаются через отдельный выходной трансформатор $Тр_в$

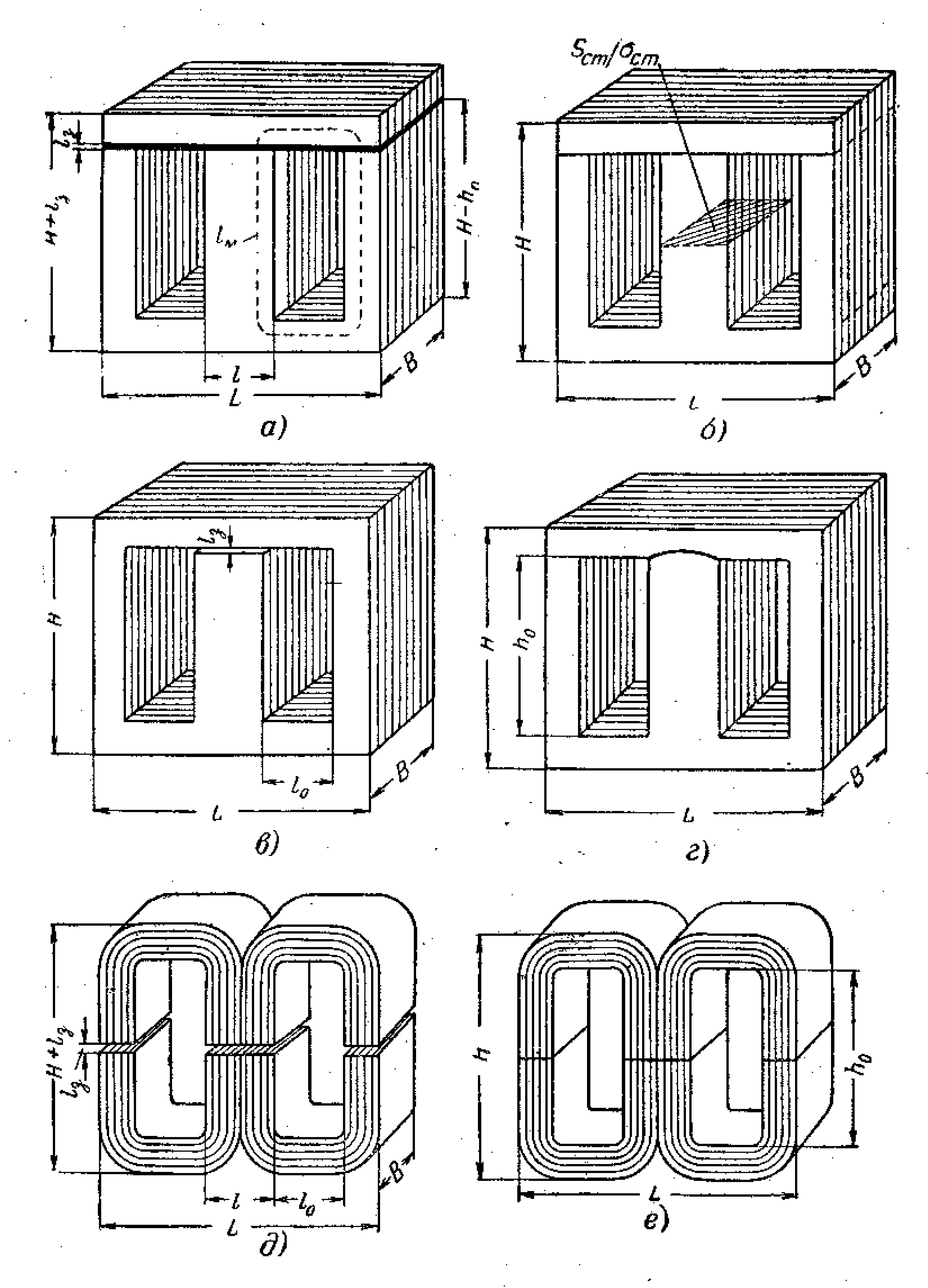


Рис. 4. Броневые магнитопроводы.

а — из пластин типов Ш и Я или УШ и УП, собранных с зазором, для трансформатора однотактного каскада; *б* — из таких же пластин, собранных вперекрышку, для трансформатора двухтактного каскада; *в* — из пластин Шпр с зазором, для трансформатора однотактного каскада; *г* — из пластин Шпр, собранных вперекрышку; *д* — ленточный разъемный с зазором; *е* — то же без зазора.

ном питании и 2—4 *вт* с электронными лампами, но при питании от электросети.

По двухтактным схемам (рис. 2) оконечные каскады выполняют, когда нужно иметь бóльшую выходную мощность. Такие каскады с электронными лампами могут работать в режиме А или В. Двухтактные схемы на транзисторах обычно работают в режиме В. Каскады на пентодах или лучевых тетродах рекомендуется выполнять по сверхлинейным схемам (рис. 1, *в* и 2, *в*), которые создают наименьшие нелинейные искажения.

МАГНИТОПРОВОДЫ

Материал. Выходные трансформаторы усилителей низкой частоты с выходной мощностью $P_{вых}$ до нескольких десятков ватт обычно имеют броневые магнитопроводы из трансформаторной стали

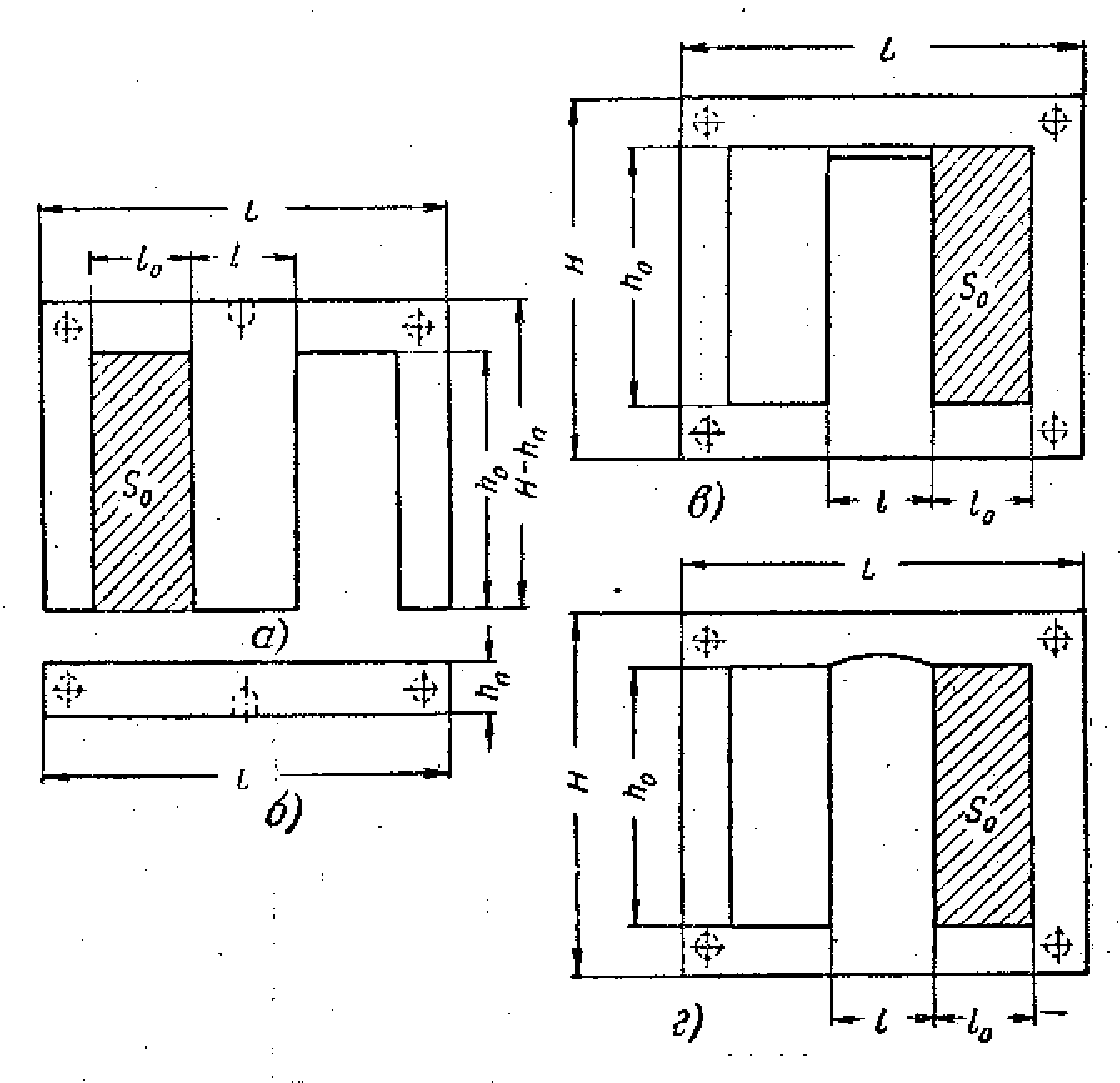


Рис. 5. Пластины броневых магнитопроводов.

а — типов Ш и УШ; *б* — типов Я и УП; *в* — типа Шпр с зазором; *г* — типа Шпр без зазора.

(рис. 4, 5 и табл. 1). Магнитопроводы трансформаторов малогабаритных приемников и усилителей НЧ с $P_{вых} \leqslant 0,15$ *вт* целесообразно изготовлять из пластин пермаллоя, что позволяет существенно уменьшить размеры трансформаторов.

Зазоры. Постоянная составляющая тока, протекающего через первичную обмотку выходного трансформатора однотактного каскада, создает в его магнитопроводе постоянное магнитное поле (постоянное подмагничивание). Оно снижает магнитную проницае-

Таблица 1

Броневые магнитопроводы

Тип	Габаритные размеры L, мм	H, мм	B, мм	$S_{ст}$, см	$l_о$, мм	$h_о$, мм	$l_м$, см	$l_в$, см	$A \cdot 10^5$
Ш3×4	12	10,5	4,0	0,10	3,0	7,5	2,65	2,3	0,46
Ш3×6,3	12	10,5	6,3	0,16	3,0	7,5	2,65	2,8	0,60
Ш4×5	16	14	5,0	0,17	4,0	10,0	3,40	3,0	0,80
Ш4×8	16	14	8,0	0,27	4,0	10,0	3,40	3,7	1,1
Ш5×6,3	20	17,5	6,3	0,27	5,0	12,5	4,25	3,8	1,3
Ш5×10	20	17,5	10,0	0,42	5,0	12,5	4,25	4,5	1,7
Ш6×8	24	21	8,0	0,41	6,0	15,0	5,10	4,7	1,9
Ш6×12,5	24	21	12,5	0,64	6,0	15,0	5,10	5,6	2,5
ШЛ6×6,3	24	21	6,3	0,34	6,0	15,0	5,10	4,3	1,8
ШЛ6×8	24	21	8,0	0,41	6,0	15,0	5,10	4,7	2,0
ШЛ6×10	24	21	10,0	0,52	6,0	15,0	5,10	5,1	2,3
ШЛ6×12,5	24	21	12,5	0,65	6,0	15,0	5,1	5,6	2,6
Ш7×7	30	30	7,0	0,42	6,5	20,0	6,9	4,7	2,1
Ш7×10	30	30	10,0	0,60	6,5	20,0	6,9	5,3	2,7
Ш7×14	30	30	14,0	0,84	6,5	20,0	6,9	6,1	3,3
Ш8×10	32	28	10,0	0,68	8,0	20,0	6,8	6,0	3,3
Ш8×16	32	28	16,0	1,10	8,0	20,0	6,8	7,1	4,8
ШЛ8×8	32	28	8,0	0,55	8,0	20,0	6,8	5,7	3,2
ШЛ8×10	32	28	10,0	0,69	8,0	20,0	6,8	6,0	3,4
ШЛ8×12	32	28	12,0	0,86	8,0	20,0	6,8	6,6	4,0
ШЛ8×16	32	28	16,0	1,16	8,0	20,0	6,8	7,1	4,9
Ш9×9	36	31,5	9	0,69	9	22,5	7,7	6,3	3,9
Ш9×13	36	31,5	13	0,92	9	22,5	7,7	7,1	5,0
Ш10×10	40	35	10	0,90	10	25	8,5	6,9	5,4
Ш10×12,5	40	35	12,5	1,1	10	25	8,5	7,4	6,1
Ш10×16	40	35	16	1,45	10	25	8,5	8,1	7,3
Ш10×20	40	35	20	1,80	10	25	8,5	8,9	8,4
ШЛ10×10	40	35	10	0,90	10	25	8,5	6,9	5,4
ШЛ10×12,5	40	35	12,5	1,10	10	25	8,5	7,4	6,2
ШЛ10×16	40	35	16	1,40	10	25	8,5	8,1	7,4
ШЛ10×20	40	35	20	1,80	10	25	8,5	8,9	8,5
УШ10×10	36	31	10	0,90	6,5	18	5,7	5,8	4,4
УШ10×15	36	31	15	1,30	6,5	18	5,7	6,8	5,5
УШ10×20	36	31	20	1,80	6,5	18	5,7	7,8	6,2
Ш12×12	36	30	12	1,30	6,0	18	6,7	6,5	4,4
Ш12×12	42	42	12	1,30	9,0	30	9,7	7,5	6,8
Ш12×12	48	30	12	1,30	12	18	7,6	8,5	5,8
Ш12×12	48	42	12	1,30	12	30	10,3	8,5	7,3

Тип	Габаритные размеры L, мм	H, мм	B, мм	$S_{ст}$, см	$l_о$, мм	$h_о$, мм	$l_м$, см	$l_в$, см	$A \cdot 10^5$
Ш12×16	42	42	16	1,70	9	30	9,7	8,3	8,2
Ш12×16	48	30	16	1,70	12	18	7,6	9,3	7,1
Ш12×16	48	42	16	1,70	12	30	10,3	9,3	9,0
Ш12×18	36	30	18	1,80	6	18	6,7	7,7	5,4
Ш12×20	42	42	20	2,2	9	30	9,7	9,1	9,7
Ш12×20	48	30	20	2,2	12	18	7,6	10,0	8,2
Ш12×20	48	42	20	2,2	12	30	10,3	10,0	10
Ш12×24	36	30	24	2,6	6	18	6,7	8,9	6,0
Ш12×25	42	42	25	2,7	9	30	9,7	10,0	10
Ш12×25	48	30	25	2,7	12	18	7,6	11,0	9,4
Ш12×25	48	42	25	2,7	12	30	10,3	11,0	12
Ш12×32	42	42	32	3,5	9	30	9,7	11,4	12
Ш12×32	48	30	32	3,5	12	18	7,6	12,5	11
Ш12×32	48	42	32	3,5	12	30	10,3	12,5	14
ШЛ12×12,5	48	42	12,5	1,3	12	30	10,3	8,7	7,5
ШЛ12×16	48	42	16	1,74	12	30	10,3	9,4	9,0
ШЛ12×20	48	42	20	2,1	12	30	10,3	10,2	10
ШЛ12×25	48	42	25	2,7	12	30	10,3	11,2	12
УШ12×12	44	38	12	1,3	8	22	6,7	7,0	7,0
УШ12×18	44	38	18	1,9	8	22	6,7	8,2	8,6
УШ12×24	44	38	24	2,6	8	22	6,7	9,4	9,8
Ш14×14	42	35	14	1,8	7	21	7,8	7,6	6,2
Ш14×14	50	43	14	1,8	9	25	7,9	8,2	9,1
Ш14×21	42	35	21	2,7	7	21	7,8	9,0	7,6
	50	43	21	2,7	9	25	7,9	9,6	11
Ш14×28	42	35	28	3,6	7	21	7,8	10,4	8,8
Ш14×28	50	43	28	3,6	9	25	7,9	11,0	13
Ш15×19	64	49	19	2,6	13,5	27	8,3	11,0	16
Ш15×30	64	49	30	4,1	13,5	27	8,3	13,3	19
Ш16×16	48	40	16	2,3	8	24	8,9	8,6	8,4
Ш16×16	64	40	16	2,3	16	24	10,5	11,0	11
Ш16×16	64	56	16	2,3	16	40	13,7	11,0	15
Ш16×20	64	40	20	2,9	16	24	10,5	12,0	14
Ш16×20	64	56	20	2,9	16	40	13,7	12,0	18
Ш16×24	48	40	24	3,5	8	24	8,9	10,2	10
Ш16×25	64	40	25	3,6	16	24	10,5	13,0	16
Ш16×25	64	56	25	3,6	16	40	13,7	13,0	21
Ш16×32	48	40	32	4,6	8	24	8,9	11,8	11
Ш16×32	64	40	32	4,6	16	24	10,5	14,3	19
Ш16×32	64	56	32	4,6	16	40	13,7	14,3	25
Ш16×40	64	40	40	5,8	16	24	10,5	15,9	21
Ш16×40	64	56	40	5,8	16	40	13,7	15,9	28

Тип	Габаритные размеры			$S_{ст}$, *см*	$l_{о}$, *мм*	$h_{о}$, *мм*	$l_{м}$, *см*	$l_{в}$, *см*	$A \cdot 10^5$
	L, *мм*	*H*, *мм*	*B*, *мм*						
ШЛ16×16	64	56	16	2,3	16	40	13,7	11,5	15
ШЛ16×20	64	56	20	2,9	16	40	13,7	12,3	17
ШЛ16×25	64	56	25	3,6	16	40	13,7	13,3	21
ШЛ16×32	64	56	32	4,6	16	40	13,7	14,7	25
УШ16×16	56	48	16	2,3	10	28	9,0	9,3	12
УШ16×24	56	48	24	3,5	10	28	9,0	10,9	15
УШ16×32	56	48	32	4,6	10	28	9,0	12,5	17
Ш18×18	54	45	18	2,9	9	27	10,0	9,8	11
Ш18×27	54	45	27	4,4	9	27	10,0	11,6	14
Ш18×36	54	45	36	5,8	9	27	10,0	13,4	16
Ш19×19	75	68	19	3,2	17	46	14,3	11,0	28
Ш19×28	75	68	28	4,9	17	46	14,3	12,8	37
Ш19×38	75	68	38	6,5	17	46	14,3	14,8	43
УШ19×19	67	57,5	19	3,2	12	33,5	10,6	11,0	19
УШ19×28	67	57,5	28	4,9	12	33,5	10,6	12,8	24
УШ19×38	67	57,5	38	6,5	12	33,5	10,6	14,8	27
Ш20×20	60	50	20	3,6	10	30	12,1	10,9	14
Ш20×20	65	65	20	3,6	12,5	45	14,6	11,9	21
Ш20×20	80	50	20	3,6	20	30	13,2	13,8	23
Ш20×20	80	70	20	3,6	20	50	17,1	13,8	30
Ш20×25	80	50	25	4,5	20	30	13,2	14,8	27
Ш20×25	80	70	25	4,5	20	50	17,2	14,8	35
Ш20×27	65	65	27	4,9	12,5	45	14,6	13,4	25
Ш20×30	60	50	30	5,4	10	30	11,1	12,9	18
Ш20×32	80	50	32	5,7	20	30	13,1	16,2	33
Ш20×32	80	70	32	5,7	20	50	17,1	16,2	43
Ш20×40	60	50	40	7,2	10	30	11,1	14,9	20
Ш20×40	65	65	40	7,2	12,5	45	14,6	15,9	31
Ш20×40	80	50	40	7,2	20	30	13,1	17,8	38
Ш20×40	80	70	40	7,2	20	50	17,1	17,8	45
ШЛ20×20	80	70	20	3,6	20	50	17,1	14,3	30
ШЛ20×25	80	70	25	4,5	20	50	17,1	15,3	36
ШЛ20×32	80	70	32	5,7	20	50	17,1	16,7	44
ШЛ20×40	80	70	40	7,2	20	50	17,1	18,3	46
Ш22×22	66	55	22	4,4	11	33	12,3	12,0	
Ш22×33	66	55	33	6,6	11	33	12,3	14,0	
УШ22×22	67	78	22	4,4	14	39	12,4	13,0	27
УШ22×33	67	78	33	6,6	14	39	12,4	15,2	34
УШ22×44	67	78	44	8,8	14	39	12,4	17,4	38
Ш25×25	100	62,5	25	5,6	25	37,5	16,4	17,4	40
Ш25×25	100	87,5	25	5,6	25	62,5	21,4	17,4	50

Тип	Габаритные размеры			$S_{ст}$, *см*	$l_{о}$, *мм*	$h_{о}$, *мм*	$l_{м}$, *см*	$l_{в}$, *см*	$A \cdot 10^5$
	L, *мм*	*H*, *мм*	*B*, *мм*						
Ш25×32	100	62,5	32	7,2	25	37,5	16,4	19,0	48
Ш25×32	100	87,5	32	7,2	25	62,5	21,4	19,0	62
Ш25×40	100	62,5	40	9,0	25	37,5	16,4	21,0	55
Ш25×40	100	87,5	40	9,0	25	62,5	21,4	21,0	70
УШ26×26	94	81	26	6,2	17	47	14,7	15,4	40
УШ26×39	94	81	39	9,3	17	47	14,7	18,0	50
УШ26×52	94	81	52	12,4	17	47	14,7	20,6	57

мость материала магнитопровода, вследствие чего индуктивность первичной обмотки уменьшается и передача нижних частот ухудшается. Если в магнитопроводе сделать немагнитный зазор в виде прокладки из картона, бумаги или иного изоляционного материала между его Ш-образной частью и ярмом (рис. 4, *а*) или в виде воздушной щели (рис. 4, *в*), то магнитная проницаемость и индуктивность снижаются в меньшей степени.

Для данного числа w_1 и для данной величины I_0 существует оптимальная (наивыгоднейшая) величина немагнитного зазора $l_з$, при которой индуктивность первичной обмотки получается наибольшей.

В выходных трансформаторах каскадов с подогревными лампами, когда постоянное подмагничивание магнитопровода значительно, начальная магнитная проницаемость пермаллоя даже при наличии зазора настолько снижается, что пермаллой уже не имеет практического преимущества перед трансформаторной сталью.

В случае двухтактной схемы постоянное подмагничивание магнитопровода, возникающее вследствие некоторой разницы в величине тока в половинках первичной обмотки (несимметрия плеч), настолько мала, что зазор в магнитопроводе не делают.

ОБМОТКИ

От числа витков и конструкции обмоток трансформатора зависят вносимые им искажения. Чтобы оконечный каскад хорошо усиливал нижние частоты звукового диапазона, первичная обмотка выходного трансформатора должна содержать большое число витков (иметь достаточно большую индуктивность). Хорошее усиление верхних звуковых частот получается, когда индуктивность рассеяния трансформатора мала. Она зависит от конструкции, взаимного расположения обмоток и толщины изоляционных прокладок между ними. Чем меньше отношение $l_н/h_н$ (рис. 6), тем индуктивность рассеяния меньше.

Выходной трансформатор с магнитопроводом из трансформаторной стали в одноламповом однотактном каскаде обычно удовлетворительно передает верхние частоты без применения секционирования обмоток (рис. 6, *а*), если применить в усилителе достаточно

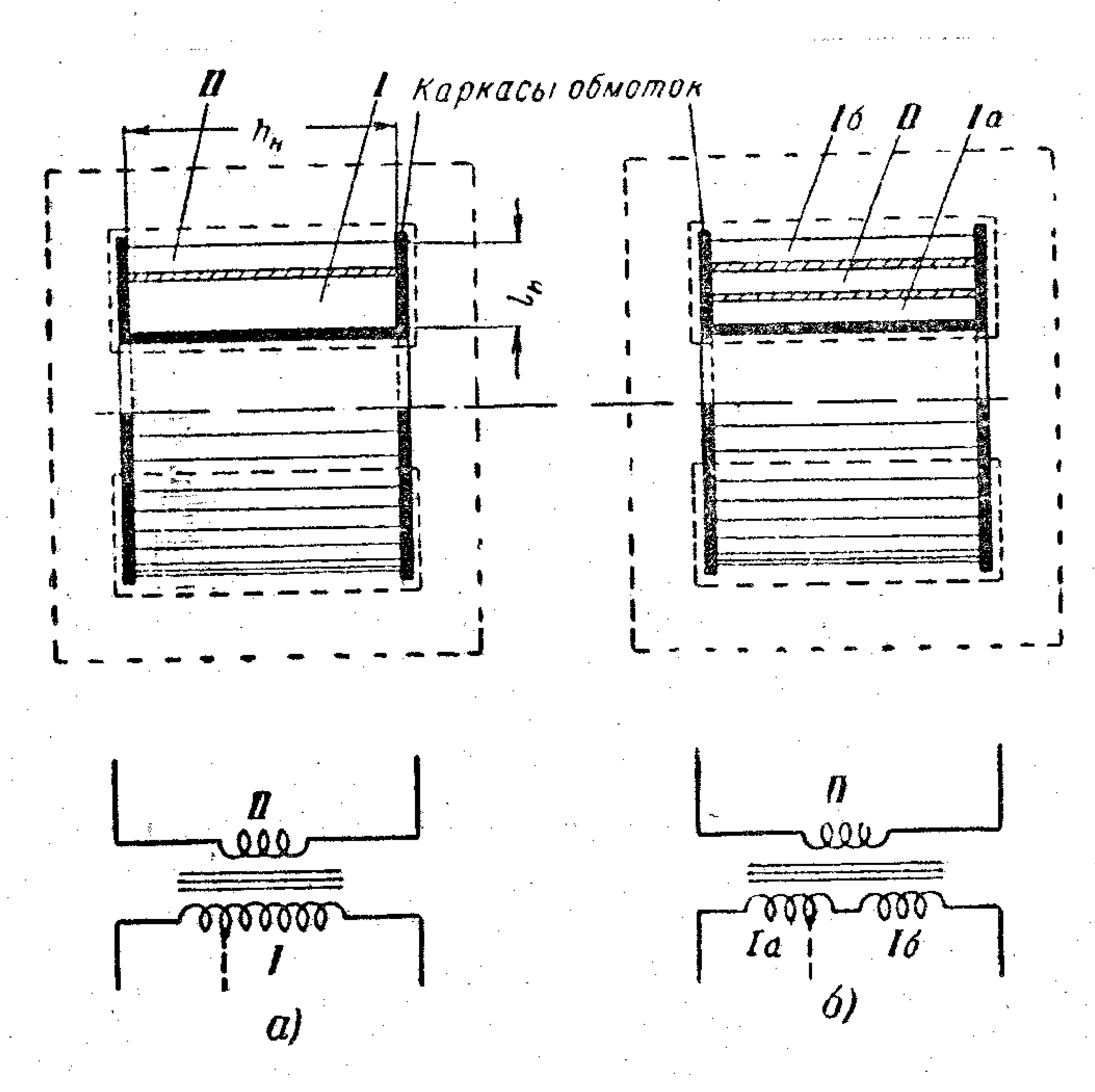


Рис. 6. Схемы и расположение обмоток выходных трансформаторов однотактных каскадов.

глубокую отрицательную обратную связь или параллельно первичной обмотке включить корректирующий контур *RC* (рис. 1, *б*). Первичную обмотку трансформатора однотактного транзисторного каскада рекомендуется разделять на две секции (рис. 6, *б*), наматывая вторичную обмотку между ними.

Обмотки выходного трансформатора двухтактного каскада, особенно если он работает в режиме В, необходимо наматывать на двухсекционном каркасе, первичную обмотку разделять на 4—6 частей, а вторичную обмотку выполнять из двух частей, располагая их между секциями первичной обмотки (рис. 7). Лучшая передача верхних частот ламповым каскадом получается при расположении обмоток согласно рис. 7, *б*. Секции *Iа, Iб, Iд* и *Iе* первичной обмотки содержат по $^1/_8$, а секции *Iв* и *Iг* по $^1/_4$ части ее витков. Секции вторичной обмотки содержат по равному числу витков.

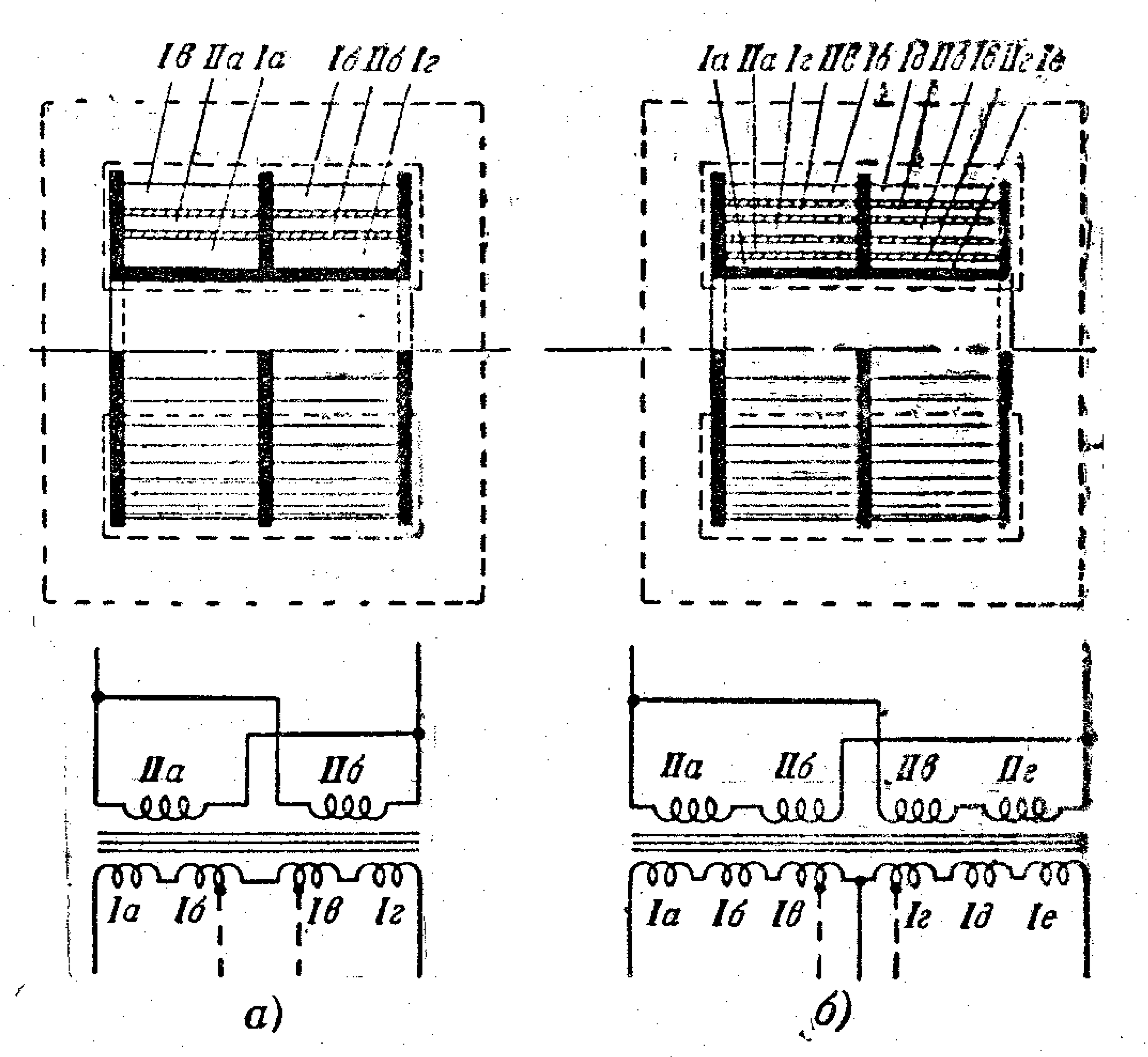


Рис. 7. Схемы и расположение обмоток выходных трансформаторов двухтактных каскадов.

РАСЧЕТ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

По приводимым ниже формулам и таблицам можно рассчитать трансформатор для однотактного каскада с выходной мощностью до 4 *вт* на пентоде (например 6П14П), лучевом тетроде (например 2П1П, 2П2П, 6П1П, 6П6С) или на транзисторе любого типа, а также трансформатор для двухтактного каскада с выходной мощностью до 30 *вт* на двух лучевых тетродах, пентодах или транзисторах. Расчет можно вести, ориентируясь на имеющийся магнитопровод с подходящими размерами или определив, какой магнитопровод потребуется приобрести для проектируемого трансформатора.

При расчете нужно задаться величинами $P_{вых}$, $f_н$, $M_н$, $R_а$ или $R_{а\text{-}а}$, $R_п$ и I_0.

Для лампового каскада $R_а$, $R_{а\text{-}а}$ и I_0 берут из соответствующего справочника. Для транзисторных каскадов эти величины в справочниках не приводятся и их можно определить по следующим приближенным формулам:

для однотактного каскада

$$R_а \approx 0,35 \frac{U_0^2}{P_{вых}}; \qquad (1)$$

Таблица 2

Наименьшие конструктивные постоянные магнитопроводов из электротехнической стали для выходных трансформаторов однотактных каскадов

$P_{вых}$, *вт*	$f_н$, *гц*	$M_н$, *дб*			
		0,5	1,0	2,0	3,0
		$A \cdot 10^5$			
До 0,5	70	40	30	20	15
	100	30	20	12	10
	150	20	15	8	6
	200	15	9	6	5
	300	9	6	4	3
0,5—1,5	70	45	35	20	17
	100	35	25	15	12
	150	25	15	10	8
	200	20	10	7	5,5
	300	10	7	5	3,5
1,5—4	70	60	40	25	20
	100	40	30	20	15
	150	30	20	15	10
	200	20	15	10	7
	300	15	10	7	5

Таблица 3

Наименьшие конструктивные постоянные магнитопроводов из 45-процентного пермаллоя для выходных трансформаторов однотактных каскадов

$P_{вых}$, *вт*	$f_н$, *гц*	$M_н$, *дб*			
		0,5	1,0	2,0	3,0
		$A \cdot 10^5$			
До 0,5	70	13	9	6	4,5
	100	9	6,5	4	3,5
	150	6	4,5	3	2,2
	200	5	3	2	1,5
	300	3	2	1,4	1,0

Таблица 4

Наименьшие конструктивные постоянные магнитопроводов из электротехнической стали для выходных трансформаторов двухтактных каскадов

$P_{вых}$, *вт*	$f_н$, *гц*	Режим А				Режим В			
		$M_н$, *дб*				$M_н$, *дб*			
		0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0
		$A \cdot 10^5$				$A \cdot 10^5$			
До 0,5	70	20	14	9	7	15	10	6,5	5,0
	100	15	10	6	5	10	7,5	4,5	3,5
	150	9	6	4	3	7	5	3,0	2,5
	200	7	5	3	2,5	5	3,5	2,5	1,8
	300	5	3,5	2,5	1,6	3,5	2,5	1,5	1,2
0,5—1,5	70	25	17	11	8	19	13	8,0	6,5
	100	17	12	7	6	13	9	5,5	4,5
	150	11	8	5	3,5	8	6	4,0	2,7
	200	8	6	4	3	6	4	3,0	2,0
	300	6	4	3	2	4	3	2,2	1,5
1,5—4	70	30	20	13	10	20	15	10	8,0
	100	20	15	9	7	16	11	7	5,0
	150	15	10	6	5	11	7	4,5	3,5
	200	11	7	5	4	8	5	3,5	2,5
	300	7	5	3	2,5	5	3,5	2,5	2,0
4—12	70	40	30	20	15	30	25	15	10
	100	30	20	15	10	25	15	10	8
	150	20	13	8	6	15	10	6	4,5
	200	15	10	6	5	12	7	5	3,4
	300	10	6	4	3	7	5	3	2,5
12—30	70	60	45	30	25	45	30	20	16
	100	45	30	20	15	35	25	15	12
	150	30	20	15	10	20	15	10	7
	200	22	15	10	7	16	10	7	5
	300	15	10	6	5	12	8	5	3,5

$$I_0 \approx 2,5 \frac{P_{вых}}{U_0}; \qquad (2)$$

для двухтактного каскада, работающего в режиме В,

$$R_{а\text{-}а} \approx \frac{U_0^2}{P_{вых}}. \qquad (3)$$

Сопротивление нагрузки для схемы на рис. 3, *а*

$$R_н = r_{зв};\qquad (4)$$

для схемы на рис. 3, *б*, если в ней применены одинаковые громкоговорители,

$$R_н = \frac{r_{зв}}{m};\qquad (4')$$

для схемы на рис. 3, *в* при том же условии

$$R_н = r_{зв}\, m.\qquad (4'')$$

О расчете включения громкоговорителей по схеме на рис. 3, *г* см. ниже. При расчете трансформатора для схемы, показанной на рис. 3, *д*, сопротивления звуковых катушек громкоговорителей, подключенных через конденсатор *C*, во внимание не принимаются.

Звуковые катушки наиболее распространенных громкоговорителей имеют следующие сопротивления $r_{зв}$:

0,1ГД3, 0,25ГД1, 1ГД5, 1ГД6, 1ГД9, 1ГД10, 1ГД11, 2ГД8 — по 6,5 *ом* ± 10%.

0,5ГД10, 0,5ГД12, 2ГД3, 3ГД7, 3ГД15, 4ГД1, 5ГД10, 5ГД14, 10ГД17 — по 4,5 *ом* ± 15%.

В результате расчета нужно выбрать размеры магнитопровода, вычислить w_I, d_I, w_{II}, d_{II} а в случае однотактного каскада, кроме того, величину $l_з$ и при использовании сверхлинейной схемы — $w_э$.

Выбор магнитопровода. По заданным $P_{вых}$, $f_н$, $M_н$, пользуясь табл. 2—5, находят минимально необходимую величину *A*, которой должен обладать магнитопровод. По табл. 1 выбирают магнитопровод с конструктивной постоянной не менее минимально необходимой и выписывают из табл. 1 размеры $S_{ст}$, $l_м$, $l_в$. Для трансформатора по рис. 7 берут магнитопровод *с* в 2—2,5 раза большим $S_{ст}$. Далее вычисляют по формулам из табл. 6 число витков и диаметр прово-

Таблица 5

Наименьшие конструктивные постоянные магнитопроводов из 45-процентного пермаллоя для выходных трансформаторов двухтактных каскадов

$P_{вых}$, *вт*	$f_н$, *гц*	Режим А				Режим В			
		$M_н$, *дб*				$M_н$, *дб*			
		0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0
		$A \cdot 10^5$				$A \cdot 10^5$			
До 0,5	70	4,0	3,0	2,0	1,5	3,0	2,5	1,3	1,0
	100	3,0	2,0	1,2	1,0	2,0	1,5	0,9	0,7
	150	2,0	1,5	0,9	0,6	1,5	1,0	0,6	0,5
	200	1,5	1,0	0,7	0,5	1,0	0,7	0,5	0,4
	300	1,0	0,8	0,5	0,4	0,8	0,6	0,5	0,4

Таблица 6

Формулы для расчета обмоток выходных трансформаторов

Однотактная схема	Двухтактная схема в режиме А	Двухтактная схема в режиме В	
$w_I = k_1\sqrt{\frac{R_a l_м}{S_{ст}}}$	$w_I = k_2\sqrt{\frac{R_{a\text{-}a} l_м}{S_{ст}}}$	$w_I = k_3\sqrt{\frac{R_{a\text{-}a} l_м}{S_{ст}}}$	(5)
—	$w_I = \frac{k_4 U_0}{S_{ст}}$	$w_I = \frac{k_5 U_0}{S_{ст}}$	(6)
$w_э = k_6 w_I$	$w_э = 2k_6 w_I$	$w_э = 2k_6 w_I$	(7)
$d_I = k_7\sqrt{\frac{w_I l_в}{R_a}}$	$d_I = k_7\sqrt{\frac{w_I l_в}{R_{a\text{-}a}}}$	$d_I = k_8\sqrt{\frac{w_I l_в}{R_{a\text{-}a}}}$	(8)
$w_{II} = k_9 w_I\sqrt{\frac{R_н}{R_a}}$	$w_{II} = k_9 w_I\sqrt{\frac{R_н}{R_{a\text{-}a}}}$	$w_{II} = k_9 w_I\sqrt{\frac{R_н}{R_{a\text{-}a}}}$	(9)

Продолжение табл. 6

Однотактная схема	Двухтактная схема в режиме А	Двухтактная схема в режиме В	
$w_{II} = k_9 w_I \sqrt{\frac{R_{н.к} P_{н.к}}{R_а (P_{н.к} + P_{н.о})}}$	$w_{II} = k_9 w_I \sqrt{\frac{R_{н.к} P_{н.к}}{R_{а\text{-}а} (P_{н.к} + P_{н.о})}}$	$w_{II} = k_9 w_I \sqrt{\frac{R_{н.к} P_{н.к}}{R_{а\text{-}а} (P_{н.к} + P_{н.о})}}$	(10)
$w_о = k_9 w_I \sqrt{\frac{R_{н.о} P_{н.о}}{R_а (P_{н.к} + P_{н.о})}}$	$w_о = k_9 w_I \sqrt{\frac{R_{н.о} P_{н.о}}{R_{а\text{-}а} (P_{н.к} + P_{н.о})}}$	$w_о = k_9 w_I \sqrt{\frac{R_{н.о} P_{н.о}}{R_{а\text{-}а} (P_{н.к} + P_{н.о})}}$	(11)
$d_{II} = k_{10} \sqrt{\frac{w_{II} I_в}{R_н}}$	$d_{II} = k_{11} \sqrt{\frac{w_{II} I_в}{R_н}}$	$d_{II} = k_{12} \sqrt{\frac{w_{II} I_в}{R_н}}$	(12)
$l_з = k_{13} w_I I_0 \cdot 10^{-7}$	—	—	(13)

дов обмоток, а для случая однотактного каскада — величину зазора $l_з$. Коэффициенты k_1—k_5 и k_7—k_{12}, необходимые для подстановки в эти формулы, находят в табл. 7—9.

Для пентода 6П14П и лучевого тетрода 6П3С коэффициент $k_6 = 0{,}22$, а для лучевых тетродов 6П1П и 6П6С коэффициент $k_6 = 0{,}11$. Для магнитопровода из электротехнической стали $k_{13} = 8$, а для магнитопровода из 45-процентного пермаллоя $k_{13} = 10$. Если в результате расчета получится $l_з \leqslant 0{,}1$ *мм*, то магнитопровод собирают в стык, без прокладки между Ш-образной частью и ярмом (магнитопровод из пластин) или между двумя частями ленточного разъемного магнитопровода.

Расчет числа витков обмоток. По формуле (5) вычисляют число витков первичной обмотки w_I, при котором усиление на частоте $f_н$ будет снижаться не более, чем на заданную величину $M_н$. Формула (6) определяет число витков первичной обмотки, при котором вносимые трансформатором нелинейные искажения не превысят допустимых. Из величин, полученных по формулам (5) и (6), выбирают большую. Если число витков, полученное по формуле (6), больше, то снижение усиления на частоте $f_н$ будет меньше заданного. В случае если w_I по формуле (6) существенно больше получен-

Таблица 7

Коэффициенты k_1—k_3 к формулам для вычисления числа витков первичной обмотки

$f_н$, *гц*	Магнитопровод из электротехнической стали, $M_н$, *дб* 0,5	1,0	2,0	3,0	Магнитопровод из 45-процентного пермаллоя, $M_н$, *дб* 0,5	1,0	2,0	3,0
	Коэффициент k_1							
70	50	40	33	30	30	25	20	17
100	40	35	27	25	25	20	16	14
150	35	30	23	20	20	16	13	12
200	30	25	20	17	17	13	11	10
300	25	20	16	14	14	11	10	8
	Коэффициент k_2							
70	34	30	23	20	15	13	10	9
100	30	25	20	17	13	11	9	8
150	25	20	16	14	11	9	8	6
200	20	17	14	11	9	7	6	5
300	17	14	11	10	7	6	5	4
	Коэффициент k_3							
70	50	40	35	30	21	18	14	13
100	40	35	30	25	18	15	12	11
150	35	30	25	20	15	12	10	9
200	30	25	20	17	13	10	9	8
300	25	20	16	14	10	9	7	6

Таблица 8

Коэффициенты k_4 и k_5 к формулам для вычисления числа витков первичной обмотки

$f_н$, *гц*	$P_{вых}$, *вт*			
	0,5—1,5	1,5—1	4—12	12—30
70	85	70	60	55
100	60	50	45	40
150	40	35	30	25
200	30	25	22	18
300	20	16	14	12

Таблица 9

Коэффициенты k_7 — k_{12} к формулам

Коэффициент	$P_{вых}$, *вт*				
	до 0,5	0,5—1,5	1,5—4	4—12	12—30
k_7	0,038	0,042	0,047	0,054	0,066
k_8	0,035	0,039	0,043	0,050	0,060
k_9	1,2	1,16	1,12	1,09	1,05
k_{10}	0,032	0,037	0,043	0,051	0,064
k_{11}	0,023	0,025	0,030	0,036	0,045
k_{12}	0,026	0,029	0,033	0,040	0,050

ного по формуле (5), следует взять магнитопровод с большей конструктивной постоянной A и произвести расчет числа витков заново.

Если вторичная обмотка выполняется по схеме на рис. 3, *г*, то полное число ее витков определяют по формуле (10), а число витков, после которого нужно сделать отвод, по формуле (11). Для других схем на рис. 3 число витков вторичной обмотки определяют по формуле (9).

Расчет диаметра проводов обмоток производят по формулам (8) и (12) в табл. 6. Если по расчету получается нестандартный диаметр провода, то намотку нужно производить проводом ближайшего большего стандартного диаметра. Обмоточные провода диаметром меньше 1 *мм* следует применять в эмалевой изоляции, иначе обмотки могут не разместиться в окнах магнитопровода. Не следует применять провода диаметром меньше 0,07 *мм*.

Следует иметь в виду, что формулы (9) и (12) для двухтактного каскада дают числа витков и диаметры проводов каждой из двух параллельно соединенных частей вторичной обмотки (см. рис. 2 и 7).

При намотке трансформатора через каждые 200—300 витков первичной обмотки следует делать прокладку из тонкой (например, конденсаторной) бумаги. Обмотки разделяют прокладками из более толстой бумаги или тонкого картона, пропитав их предварительно лаком или иным изоляционным составом.

Напряжение на вторичной обмотке выходного трансформатора однотактного оконечного каскада, когда к ней подключено нормальное нагрузочное сопротивление $R_н$ и каскад отдает мощность $P_{вых}$, можно определить по формуле

$$U_{II} = \sqrt{P_{вых} R_н} \qquad (14)$$

Если на вторичной обмотке нужно получить определенное напряжение U_{II} (например, на дополнительной обмотке обратной связи), то в случае однотактной схемы число ее витков определяют по формуле

$$w_{II} = \frac{k_9 w_I U_{II}}{\sqrt{P_{вых} R_а}} . \qquad (15)$$

В случае двухтактной схемы в формулу (15) вместо $R_а$ подставляют $R_{а\text{-}а}$

Расчет трансформатора верхних частот (*$Тр_в$* в схеме на рис. 3, *е*). Для такого трансформатора выбирают магнитопровод с конструктивной постоянной не менее 5—7 и число витков первичной обмотки вычисляют по формуле

$$w_I = 720 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{l_м}{f_в C S_{ст}}} , \qquad (16)$$

где $C = 2\,700$—$4\,700$ *пф*.

Число витков вторичной обмотки и диаметр проводов обмоток этого трансформатора вычисляют по формулам (8), (9) и (12).

Пример расчета 1. Рассчитать выходной трансформатор к однотактному оконечному каскаду по сверхлинейной схеме на лампе 6П14П со следующими данными: $P_{вых} = 1$ *вт*; $f_н = 100$ *гц*; $M_н = 2$ *дб*; $R_а = 5\,000$ *ом*; $I_0 = 40$ *ма*; $R_н = 2{,}75$ *ом* (два соединенных параллельно громкоговорителя 1ГД9).

1. Согласно табл. 2, минимально необходимая конструктивная постоянная магнитопровода $A = 15 \cdot 10^{-6}$. По табл. 1 выбираем магнитопровод УШ16 × 24, для которого $A = 15 \cdot 10^{-5}$; $S_{ст} = 3{,}5$ *см²*; $l_м = 9$ *см*; $l_н = 10{,}9$ *см*.

2. Необходимые для расчета коэффициенты (выписываем их табл. 7 и 9): $k_1 = 27$; $k_7 = 0{,}042$; $k_9 = 1{,}16$; $k_{10} = 0{,}037$. Для лампы 6П14П коэффициент $k_6 = 0{,}22$. Для стали $k_{13} = 8$.

3. По формулам (5), (7) и (8)

$$w_I = 27 \sqrt{\frac{5\,000 \cdot 9}{3.5}} = 3\,060 \text{ витков;}$$

$$w_э = 0{,}22 \cdot 3\,060 = 673 \text{ витка};$$

$$d_I = 0{,}042 \sqrt{\frac{3\,060 \cdot 10{,}9}{5\,000}} = 0{,}11 \text{ мм}.$$

4. По формулам (9) и (12)

$$w_{II} = 1{,}16 \cdot 3\,060 \sqrt{\frac{2{,}75}{5\,000}} = 84 \text{ витка};$$

$$d_{II} = 0{,}037 \sqrt{\frac{84 \cdot 10{,}9}{2{,}75}} = 0{,}69 \text{ мм}.$$

5. По формуле (13)

$$l_э = 8 \cdot 3\,060 \cdot 40 \cdot 10^{-7} = 0{,}1 \text{ мм}.$$

Пример расчета 2. Рассчитать выходной трансформатор к двухтактному оконечному каскаду на двух транзисторах П13А со следующими данными: $P_{вых} = 0{,}1$ *вт*; $f_н = 300$ *гц*; $M_н = 2$ *дб*; $R_н = r_{зв} = 6{,}5$ *ом*; $U_0 = 9$ *в*; режим В; магнитопровод из 45-процентного пермаллоя.

1. По формуле (3)

$$R_{а\text{-}а} = \frac{9^2}{0{,}1} \approx 810 \text{ ом}$$

2. Согласно табл. 5 минимально необходимая конструктивная постоянная $A = 0{,}5 \cdot 10^{-5}$.

Выбираем магнитопровод типа Ш3×6,3, для которого $A = 0{,}6 \times 10^{-5}$; $S_{ст} = 0{,}16$ *см²*; $l_м = 2{,}65$ *см* и $l_в = 2{,}8$ *см*.

3. Коэффициенты, необходимые для расчета (выписываем из табл. 7 и 9): $k_3 = 7$; $k_8 = 0{,}035$, $k_9 = 1{,}2$; $k_{12} = 0{,}026$.

4. По формулам (5) и (8)

$$w_I = 7 \sqrt{\frac{810 \cdot 2{,}65}{0{,}16}} = 810 \text{ витков};$$

$$d_I = 0{,}035 \sqrt{\frac{810 \cdot 2{,}8}{810}} = 0{,}058 \text{ мм}.$$

Принимаем $d_I = 0{,}07$ *мм*.

5. По формуле (9)

$$w_{II} = 1{,}2 \cdot 810 \sqrt{\frac{6{,}5}{810}} = 88 \text{ витков}.$$

Если в трансформаторе очень малых габаритов сделать несколько прокладок между обмотками и их слоями, а также перегородку между секциями, то обмотки могут не разместиться в окнах магнитопровода.

Для выходного трансформатора оконечного каскада на маломощных транзисторах, где напряжение питания невелико, допустимо

конструкцию обмоток упростить следующим образом. Обе половины первичной обмотки намотать одновременно проводом, сложенным вдвое, и конец одного провода соединить с началом другого. Вторичную обмотку выполнить односекционной с числом витков, вычисленным по формуле (9) из провода в 1,41 раза большего диаметра по сравнению с тем, который получится по формуле (12).

В нашем примере вторичную обмотку нужно намотать проводом, имеющим диаметр

$$d_{II} = 1{,}41 \cdot k_{12} \sqrt{\frac{w_{II}\, l_в}{R_н}} = 1{,}41 \cdot 0{,}026 \sqrt{\frac{88 \cdot 2{,}8}{6{,}5}} = 0{,}23 \text{ мм}.$$

Прокладку между обмотками достаточно сделать из тонкой, например конденсаторной, бумаги.

Пример расчета 3. Определить возможность применения магнитопровода типа Ш9×13 из трансформаторной стали в выходном трансформаторе оконечного каскада, работающего в режиме В на транзисторах П13А, со следующими данными: $P_{вых} = 0{,}15$ *вт*; $U_0 = 6$ *в*; $R_н = 6{,}5$ *ом* (громкоговоритель 0,25ГД1); $f_н = 200$ *гц*; $M_н = 2$ *дб*. Если данный магнитопровод пригоден, то рассчитать на этом магнитопроводе трансформатор.

1. Согласно табл. 4 для трансформатора с требуемыми электрическими параметрами нужен магнитопровод с $A \geqslant 2{,}5 \cdot 10^{-5}$. По табл. 1 находим, что типовая конструктивная постоянная имеющегося магнитопровода $A = 5 \cdot 10^{-5}$, т. е. он для нашей цели вполне пригоден. Его размеры: $S_{ст} = 0{,}92$ *см²*, $l_м = 7{,}7$ *см* и $l_в = 7{,}1$ *см*.

2. По формуле (3)

$$R_{а\text{-}а} \approx \frac{6^2}{0{,}15} = 240 \text{ ом}$$

Необходимые для расчета коэффициенты (выписываем из табл. 7 и 9): $k_3 = 20$; $k_8 = 0{,}035$; $k_9 = 1{,}2$; $k_{12} = 0{,}026$.

3. По формулам (5), (8) и (9):

$$w_I = 20 \sqrt{\frac{240 \cdot 7{,}7}{0{,}92}} = 900 \text{ витков } (450 + 450 \text{ витков});$$

$$d_I = 0{,}035 \sqrt{\frac{900 \cdot 7{,}1}{240}} = 0{,}18 \text{ мм};$$

$$w_{II} = 1{,}2 \cdot 900 \sqrt{\frac{6{,}5}{240}} = 173 \text{ витка}.$$

Как и в предыдущем примере, вторичную обмотку будем выполнять односекционной. При этом диаметр ее провода

$$d_{II} = 1{,}41 \cdot 0{,}026 \sqrt{\frac{173 \cdot 7{,}1}{6{,}5}} = 0{,}51 \text{ мм}.$$

Пример расчета 4. Рассчитать выходной трансформатор к двухтактному оконечному каскаду по сверхлинейной схеме на двух лампах 6П14П со следующими данными: $P_{вых} = 10$ *вт*; $R_{а\text{-}а} = 8$ *ком*; $R_н = 9$ *ом*; $U_0 = 300$ *в*; режим В; $f_н = 100$ *гц*; $M_н = 2$ *дб*. Для магнитопровода трансформатора имеются пластины типа УШ19. Обмотки нужно выполнить по рис. 7, *б*.

1. Согласно табл. 4 для трансформатора с указанными электрическими характеристиками нужно иметь магнитопровод с $A \geqslant 10 \times \times 10^{-5}$.

Учитывая, что при заданном конструктивном выполнении обмоток σ_0 будет небольшим, так как значительный объем в окне займут прокладки между секциями обмоток и щечки каркаса, выбираем магнитопровод типа УШ19×28, для которого согласно табл. 1 $S_{ст}=4{,}9$ *см*², $l_м=10{,}6$ *см*, $l_в=12{,}8$ *см* и типовое значение $A=24 \cdot 10^{-5}$.

2. Коэффициенты, необходимые для расчета (выписываем из табл. 7, 8 и 9): $k_3=30$; $k_5=45$; $k_8=0{,}050$; $k_9=1{,}09$; $k_{12}=0{,}04$. Для лампы 6П14П $k_6=0{,}22$.

3. По формулам (5) и (6):

$$w_{\rm I} = 30\sqrt{\frac{8\,000 \cdot 10{,}6}{4{,}9}} = 3\,950 \text{ витков;}$$

$$w_{\rm I} = \frac{45 \cdot 300}{4{,}9} = 2\,700 \text{ витков.}$$

Принимаем округленно 4 000 витков. В секциях *Iа*, *Iб*, *Iд* и *Iе* должно быть по $\frac{1}{8} \cdot 4\,000=500$ витков, а в секциях *Iв* и *Iг* — по $\frac{1}{4} \cdot 4\,000=1\,000$ витков.

4. По формуле (7)

$$w_э = 2 \cdot 0{,}22 \cdot 4\,000 = 1\,760 \text{ витков,}$$

т. е. отводы нужно делать в каждой половине обмотки от 880-го витка (1 760 : 2).

5. По формуле (8)

$$d_{\rm I} = 0{,}050\sqrt{\frac{4\,000 \cdot 12{,}8}{8\,000}} = 0{,}13 \text{ мм.}$$

6. По формулам (9) и (12):

$$w_{\rm II} = 1{,}09 \cdot 4\,000\sqrt{\frac{9}{8\,000}} = 143 \text{ витков;}$$

$$d_{\rm II} = 0{,}04\sqrt{\frac{147 \cdot 12{,}8}{9}} = 0{,}58 \text{ мм.}$$

т. е. каждая из секций вторичной обмотки *IIа*, *IIб*, *IIв* и *IIг* будет иметь по 148 : 2=74 витка провода диаметром 0,58 *мм*.

7. По формуле (14)

$$U_{\rm II} = \sqrt{10 \cdot 9} = 9{,}5 \text{ в.}$$

1. Выходные трансформаторы радиовещательных приемников, радиол, телевизоров и магнитофонов с однотактным оконечным каскадом

Тип приемника, телевизора, магнитофона, радиолы	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		Нагрузка (громкоговорители)	
			$w_{\rm I}$	$d_{\rm I}$, *мм*	$w_{\rm II}$	$d_{\rm II}$, *мм*	Тип	Количество
Для лампы 2П1П								
«Воронеж»[2]	0,1	Ш16×16	2 650	0,12	75	0,51	1ГД6	1
«Дорожный»[2]	—	Ш9×12	1 675+1 675	0,12	60	0,51	0,5ГД7	1
«Киев-Б2»[2]	0,07	Ш16×16	1 350+1 500	0,12	28	0,6	0,25ГДШ	1
«Луч»[2]	0,05	Ш14×16	2 500	0,09	60	0,55	0,25ГДШ	1
«Новь»[2]	0,1	Ш16×16	2 835	0,1	80	0,51	1ГД7	1
					750[3]	0,1	(1ГД8)	1
«Тула»[2]	0,05	Ш18×18	2 500	0,09	60	0,55	0,5ГД5	1
Для лампы 2П2П								
«Турист»[2]	0,04	Ш9×12	3 550	0,12	50	0,55	0,1ГД1	1
Для лампы 6П1П								
«Рубин»[4]	1,0	УШ16×32	3 000	0,12	150	0,51	1ГД9	2[5]
«Старт»[4]	1,0	Ш20×20,5	4 270	0,12	148	0,55	1ГД9	1
«Старт-2»[4]	1,0	Ш20×20,5	2 600	0,12	91	0,55	1ГД9	1
А-8[2]	1,5	Ш14×21	2 000	0,15	45	0,59	3ГД4	1
Для лампы 6П6С								
АРЗ-51, АРЗ-52[2]	0,5	Ш16×16	2 500	0,1	61	0,8	1ГД1	1
АРЗ-54[2]	0,5	Ш16×16	3 000	0,12	73	0,51	1ГД1	1
«Днипро»[2]	0,5	Ш16×24	2 530	0,11	71	0,69	1ГД1,5	1

Продолжение

Тип приемника, телевизора манитофона, радиолы	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		Нагрузка (громкоговорители)	
			w_I	d_I, *мм*	w_{II}	d_{II}, *мм*	Тип	Количество
			Для лампы 6П6С					
«Москвич-3» и «Огонек»[2]	0,5	Ш16×16	2 850	0,1	60	0,64	1ГД5Ш	1
«Рекорд-53»[2,6]	0,5	Ш16×16	2 600+200	0,12	90	0,44	1ГД5Ш	1
«Темп», «Темп-2»[4]	1,0	Ш19×30	2 700	0,15	65	0,8	1ГД5	2[7]
«Балтика»[2]	2,0	Ш16×16	2 650	0,12	44	0,8	3ГДМП	1
					650[8]	0,12		
			Для лампы 6П14П					
«Волна»[2]	0,5	Ш18×18	2 500+500	0,12	62	0,59	1ГД5	1
«Заря», «Стрела»[2]	0,5	УШ12×18	2 650	0,09	75	0,44	1ГД9	1
«Рекорд-61»[6]	0,5	УШ14×16	2 800	0,12	72	0,44	1ГД5	2
«Рекорд-А»[4]	1,0	УШ16×16	2 800	0,16	125	0,59	1ГД9	1
«Воронеж»[4]	1,0	Ш16×24	2 940	0,12	90	0,64	1ГД9	1
					600[3]	0,12		
«Енисей-2»[4]	1,0	Ш20×28	3 500	0,12	100	0,64	1ГД9	2[7]
«Казань-2»[10]	1,0	Ш12×25	3 500	0,14	100	0,64	1ГД9	1
«Комсомолец»[4]	1,0	Ленточный	3 000	0,1	110	0,51	1ГД9	1
«Львов»[4]	1,0	УШ19×28	2 400	0,16	47+ +19	0,8	2ГД3	1[11]
							1ГД9	1
«Рубин-102»[4]	1,0	УШ16×32	2 000	0,18	100	0,59	1ГД9	2[5]
«Янтарь»[4]	1,0	УШ16×32	2 000	0,12	170	0,65	4ГД1	2[5]
«Латвия» (РН 59)[6]	1,5	УШ16×24	2 900+ 95	0,12	50	0,8	2ГД8-ВЭФ	2[7]
		УШ10×10[13]	2 000	0,12	33	0,51	1ГД1-ВЭФ[13]	2[7]

Продолжение

Тип приемника, телевизора, магнитофона, радиолы	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод	Первичная обмотка[1]		Вторичная обмотка[1]		Нагрузка (громкоговорители)	
			w_I	d_I, *мм*	w_{II}	d_{II}, *мм*	Тип	Количество
			Для лампы 6П14П					
«Яуза-5»[14]	1,5	УШ16×32	2 000	0,18	100	0,59	1ГД9	2[5]
«Байкал», «Муромец»[2]	2,0	Ш16×24	2 600	0,12	64	0,51	1ГД5	2[7]
«Волга», «Жигули», «Комета», «Октава»[2]	2,0	Ш16×16	2 600	0,12	90	0,64	2ГД3	2[5]
«Восток-57»[2]	2,0	УШ10×10[13]	2 000[18]	0,12	28	0,51	1ГД9[13]	2[7]
		Ш16×16	2 592	0,12	64	0,51	2ГД3	2[7]
«Дзинтарс»[2], «Сакта»[6]	2,0	—	2 250+650[12]	0,15	80	0,64	5ГД1-РР3	1
							1ГД9	2[15]
«Донец»[2]	2,0	Ш16×16	2 660	0,12	64	0,51	1ГД5	2[7]
«Минск-58»[2]	2,0	Ш16×16	2 400+145	0,12	57	0,85	5ГД14	1
					750[8]	0,12	ВГД1	1
«Юбилейный стерео»[14]	2,0	Ш12×24	2 800	0,13	74	0,74	1ГД9	2[7]
«Харьков»[2]	2,0	Ш18×18	2 600	0,12	64	0,51	1ГД5	2[7]

[1] Намотка проводом в эмалевой изоляции. [2] Радиоприемник. [3] Обмотка, с которой снимается напряжение на купроксный вентиль устройства автоматического смещения рабочей точки оконечного каскада. [4] Телевизор. [5] Громкоговорители соединены последовательно. [6] Радиола. [7] Громкоговорители соединены параллельно. [8] Дополнительная обмотка для подключения внешнего громкоговорителя. [9] Обмотка обратной связи. [10] Радиола-магнитофон. [11] Громкоговоритель 2ГД3 включен на концы обмотки, а 1ГД9 к отводу. [12] Включение по сверхлинейной схеме. [13] Громкоговорители, воспроизводящие верхние частоты, и трансформатор к ним. [14] Магнитофон. [15] Громкоговорители 1ГД9 соединены последовательно и подключены к вторичной обмотке трансформатора через конденсатор.

2. Выходные трансформаторы радиовещательных приемников, радиол и магнитофонов с двухтактным оконечным каскадом

Тип приемника, радиолы, магнитофона	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод[2]	Первичная обмотка[1] w_I	Первичная обмотка[1] d_I, *мм*	Вторичная обмотка[1] w_{II}	Вторичная обмотка[1] d_{II}, *мм*	Нагрузка (громкоговорители) Тип	Нагрузка (громкоговорители) Количество
Для двух транзисторов П13А или П14								
«Нева», «Чайка»[3]	0,1	Ш3×6	450+450	0,09	102	0,23	0,1ГД3	1
«Родина-59»[4]	0,15	Ш9×18	200+200	0,31	73	0,64	1ГД6	1
«Сюрприз»[3]	0,1	Ш6,3×6	245+245	0,18	245	—	—	1
Для двух транзисторов П8								
«Минск»[4]	0,4	Ш12×12	200+200	0,27	91+1	0,51	1ГД6 (1ГД9)	1
Для двух транзисторов П3Б								
«Восход»[4]	0,35	УШ10×15	700+700	0,25	82	0,47	0,5ГД11	1
Для двух ламп 2П1П								
«Родина-52»[4]	0,15	Ш16×16	1 750+1 750	0,1	50 1 200[5]	0,64 0,1	3ГД3	1
Для двух ламп 6П1П								
«Эстония-55»	4,0	УШ16×32	800+800	0,18	13	1,0	6ГДР1	2[6]

Продолжение

Тип приемника, радиолы магнитофона	$P_{вых}$, *вт*	Магнитопровод[2]	Первичная обмотка[1] w_I	Первичная обмотка[1] d_I, *мм*	Вторичная обмотка[1] w_{II}	Вторичная обмотка[1] d_{II}, *мм*	Нагрузка (громкоговорители) Тип	Нагрузка (громкоговорители) Количество
Для двух ламп 6П14П								
«Днепр-11»[7]	3,0	Ш19×33	800+600+ +600+800[8]	0,15	72 800[9]	0,69 0,15	2ГД3 1ГД2	2[10] 2
«Дружба», «Люкс», «Россия»[11]	6,0	Ш19×28 Ш9×12[12]	1 140+1 140 2 000	0,15 0,12	70 35	0,38×2 0,51	5ГД14 1ГД9[12]	2 2
«Фестиваль»[11]	4,0	Ш20×30	1 000+250+ +1 000+250[8]	0,14	50 35+15+ +30[9]	0,47 —	6ГД1 4ГД2 1ГД1	2[6] 2 1

[1] Намотка проводов в эмалевой изоляции. [2] Магнитопроводы трансформаторов радиоприемников «Нева», «Чайка» и «Сюрприз» из пермаллоя, а у остальных трансформаторов из электротехнической стали. [3] Карманный радиоприемник. [4] Настольный радиоприемник. [5] Обмотка для подключения внешнего громкоговорителя. [6] Громкоговорители соединены параллельно. [7] Магнитофон. [8] Включение по сверхлинейной схеме. [9] Обмотка обратной связи. [10] Громкоговорители 2ГД3 включены последовательно и последовательно с ними включены два соединенных параллельно громкоговорителя 1ГД2. [11] Радиола. [12] Громкоговорители, воспроизводящие верхние частоты, и трансформатор к ним.